

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Application of:

TAEHYUN JEON, ET AL.

Application No.:

Filed:

For: Method and Device for Tracking Carrier Frequency
Offset and Sampling Frequency Offset In Orthogonal
Frequency Division Multiplexing Wireless
Communication System

Art Group:

Examiner:

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

REQUEST FOR PRIORITY

Sir:

Applicant respectfully requests a convention priority for the above-captioned application, namely:

COUNTRY	APPLICATION NUMBER	DATE OF FILING
Korea	10-2002-0077999	9 December 2002

☒ A certified copy of the document is being submitted herewith.

Respectfully submitted,

Blakely, Sokoloff, Taylor & Zafman LLP

Dated: 7/9/03

12400 Wilshire Blvd., 7th Floor
Los Angeles, California 90025
Telephone: (310) 207-3800

Eric S. Hyman, Reg. No. 30,139

대한민국 특허청

KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto
is a true copy from the records of the Korean Intellectual
Property Office.

출원번호 : 10-2002-0077999
Application Number

출원년월일 : 2002년 12월 09일
Date of Application DEC 09, 2002

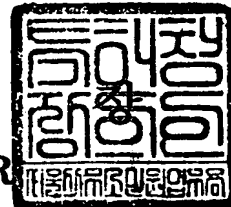
출원인 : 한국전자통신연구원
Applicant(s) Electronics and Telecommunications Research Institute



2003 년 05 월 16 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0006
【제출일자】	2002.12.09
【발명의 명칭】	직교 주파수 분할 다중화 무선 통신 시스템에서의 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차 추적 방법 및 그 장치
【발명의 영문명칭】	METHOD AND APPARATUS FOR CARRIER FREQUENCY OFFSET AND SAMPLING CLOCK FREQUENCY OFFSET TRACKING IN ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS
【출원인】	
【명칭】	한국전자통신연구원
【출원인코드】	3-1998-007763-8
【대리인】	
【명칭】	유미특허법인
【대리인코드】	9-2001-100003-6
【지정된변리사】	이원일
【포괄위임등록번호】	2001-038431-4
【발명자】	
【성명의 국문표기】	전태현
【성명의 영문표기】	JEON, TAE HYUN
【주민등록번호】	670131-1057424
【우편번호】	157-850
【주소】	서울특별시 강서구 방화2동 536-12번지
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	임형수
【성명의 영문표기】	LIM, HYOUNG SOO
【주민등록번호】	691020-1674016
【우편번호】	302-750
【주소】	대전광역시 서구 월평2동 무지개아파트 102동 304호
【국적】	KR

【발명자】

【성명의 국문표기】 유희정
【성명의 영문표기】 YU,HEE JUNG
【주민등록번호】 760715-1953436
【우편번호】 305-805
【주소】 대전광역시 유성구 신성동 162-4번지 201호
【국적】 KR

【발명자】

【성명의 국문표기】 안재영
【성명의 영문표기】 AHN, JAE YOUNG
【주민등록번호】 610224-1558114
【우편번호】 305-761
【주소】 대전광역시 유성구 전민동 엑스포아파트 105동 806호
【국적】 KR

【심사청구】

청구

【취지】

특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인
 유미특허법인 (인)

【수수료】

【기본출원료】	20 면	29,000 원
【가산출원료】	11 면	11,000 원
【우선권주장료】	0 건	0 원
【심사청구료】	11 항	461,000 원
【합계】		501,000 원
【감면사유】	정부출연연구기관	
【감면후 수수료】		250,500 원

【기술이전】

【기술양도】 희망
【실시권 허여】 희망
【기술지도】 희망

【첨부서류】

1. 요약서·명세서(도면)_1통

【요약서】**【요약】**

본 발명은 직교 주파수 분할 다중화 무선 통신 시스템에서의 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차 추적 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

본 발명에서는, 서로 직교성을 가지는 부반송파들을 동시에 전송하는 송신부와 이를 수신하는 수신부간의 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차를 추적하는 방법에 있어서, 제1 신호를 이용하여 송신부로부터 수신된 데이터를 검출한 후, 검출된 수신 데이터를 이용하여 반송파 주파수 오차에 의한 위상 오차를 추적하는 단계, 제1 신호를 이용하여 송신부로부터 수신된 데이터를 검출한 후, 검출된 수신 데이터를 이용하여 샘플링 주파수 오차에 의한 위상 오차를 추적하는 단계, 추적된 위상 오차에 따라 송신부와 수신부간의 반송파 주파수 오차에 따른 위상 오차를 보상하는 단계, 추적된 위상 오차에 따라 송신부와 수신부간의 샘플링 주파수 오차에 따른 위상 오차를 보상하는 단계를 포함한다.

이를 통하여, 시스템 성능 향상 뿐만 아니라, 추정치의 신뢰성 향상을 이룰 수 있다.

【대표도】

도 1

【색인어】

직교 주파수 분할 다중화(OFDM), 반송파 주파수 오차, 샘플링 주파수 오차

【명세서】

【발명의 명칭】

직교 주파수 분할 다중화 무선 통신 시스템에서의 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차 추적 방법 및 그 장치 {METHOD AND APPARATUS FOR CARRIER FREQUENCY OFFSET AND SAMPLING CLOCK FREQUENCY OFFSET TRACKING IN ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 본 발명의 실시예에 따른 직교 주파수 분할 다중화 무선 통신 시스템의 대략적인 구성을 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 직교 주파수 분할 다중화 무선 통신 시스템에서의 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차로 인하여 발생하는 위상 오차를 추적하기 위한 동작 과정을 순차적으로 도시한 흐름도이다.

※도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명※

100 : 직교 주파수 분할 다중화 무선 통신 시스템

110 : 송신부

111 : 매핑부

112 : 고속 역푸리에 변환부(IFFT) 113 : 보호구간 추가부

114 : 병렬/직렬 변환부

120 : 수신부

121 : 아날로그/디지털 변환부

122 : 보호구간 삭제부

123 : 고속 푸리에 변환부(FFT)

124 : 주파수 영역 등화부

125 : 디매퍼(Demapper)

126 : 오차 추적/보상부

【발명의 상세한 설명】**【발명의 목적】****【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】**

- <11> 본 발명은 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차를 추적하는 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 직교 주파수 분할 다중화 무선 통신 시스템에서의 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차 추적 방법 및 그 장치에 관한 것이다.
- <12> 일반적으로, 직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 시스템에서는 서로 직교성을 가지는 부 반송파(sub carrier)들이 디지털 데이터에 의해 변조된 후, 동시에 전송된다. 이러한 변조된 협대역의 부 반송파의 합이 전체 전송 대역을 형성함으로써, 시간축 상에서의 심볼 간격이 증가하게 되며 이는 다중 경로 페이딩으로 인한 심볼간의 간섭을 줄일 수 있게 한다.
- <13> 그러나, 이러한 직교 주파수 분할 다중화 시스템 역시 다른 무선 통신 시스템의 경우와 마찬가지로 송신단과 수신단에서의 반송파 주파수의 차이로 인한 성능저하를 일으킨다. 즉, 반송파 주파수의 오프셋(offset)으로 인한 신호 대 잡음비 (Signal to Noise Ratio, SNR) 감소 및, 인접 부 반송파의 간섭(Interference) 등이 발생하여 그로 인한 성능 저하를 일으킨다.
- <14> 또한, 송신단과 수신단에서의 샘플링 주파수(Sampling Frequency) 차이로 인해 샘플링 시점의 오차를 발생시키는데, 이는 직교 주파수 분할 다중화 시스템의 성능 저하를 일으킨다.

- <15> 이처럼, 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차는 직교 주파수 분할 다중화 시스템의 직교성(Orthogonality)을 상실하게 만들 뿐만 아니라, 이는 시스템의 성능 저하로 이어진다. 따라서, 수신단에서는 지속적으로 반송파 주파수 및 샘플링 주파수의 오차를 추적하여 그에 따른 보상 작업을 해야만 한다.
- <16> 보상 작업시, 먼저 반송파 주파수 및 샘플링 주파수 오차로 인한 위상(phase) 오차를 추적해야 하는데, 이를 위한 추적 방법으로는 파일럿(pilot) 신호 등과 같이 미리 알려진 데이터의 정보를 이용하는 방법과 페이로드(payload) 데이터를 복원한 후, 복원된 정보를 이용하는 방법 등이 있다.
- <17> 또한, 관련 논문으로는 M.Luise 및 R.Reggiannini 등이 발표한 [논문제목 : Carrier Frequency Acquisition and Tracking for OFDM Systems, 게재지 : IEEE Trans. Communications, 1996년 10월, pp. 1590-1598]이 있는데, 이는 복조된 데이터와 송신단으로부터 수신된 신호를 바탕으로 하여 시간 영역에서 반송파 주파수 오차를 추적하고 보상하는 방식을 제안하였다.
- <18> 하지만, 이처럼 수신된 신호(파일럿 신호)를 이용하는 방법은 수신단에서 미리 알고 있는 정보를 이용하기 때문에 좀 더 정확한 위상 추적이 가능하기 하지만, 이러한 방법은 제한된 수의 일부 부채널에만 고정되어 위치하는 경우, 그 부채널의 채널 이득이 작으면 추정치의 신뢰도 역시 낮아지게 된다.
- <19> 또한, 관련 논문으로는 B.Yang 등이 발표한 [논문제목 : Timing recovery for OFDM transmission, 게재지 : IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Nov. 2000]이 있는데, 이는 채널 전력의 지연 특성을 이용하여 샘플링 주파수 오차를 추정하고 보상하는 방법을 제시하였다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<20> 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 이러한 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차 추적시, 파일럿 신호 뿐만 아니라 검출된 데이터 신호 및 각 부채널에서의 이득을 가중치로 적용하여 추적함으로써, 성능 향상 및 추정치의 신뢰성 향상을 제공할 수 있는 직교 주파수 분할 다중화 무선 통신 시스템에서의 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차 추적 방법 및 그 장치를 제공하기 위한 것이다.

【발명의 구성 및 작용】

<21> 이러한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 직교 주파수 분할 다중화 무선 통신 시스템에서의 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차 추적 방법은, 서로 직교성을 가지는 부반송파들을 동시에 전송하는 송신부와 이를 수신하는 수신부간의 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차를 추적하는 방법에 있어서, a)제1 신호를 이용하여 송신부로부터 수신된 데이터를 검출한 후, 상기 검출된 수신 데이터를 이용하여 반송파 주파수 오차에 의한 위상 오차를 추적하는 단계; b)상기 제1 신호를 이용하여 상기 송신부로부터 수신된 데이터를 검출한 후, 상기 검출된 수신 데이터를 이용하여 샘플링 주파수 오차에 의한 위상 오차를 추적하는 단계; c)상기 a)단계에서 추적된 위상 오차에 따라 상기 송신부와 수신부간의 반송파 주파수 오차에 따른 위상 오차를 보상하는 단계; 및 d)상기 b)단계에서 추적된 위상 오차에 따라 상기 송신부와 수신부간의 샘플링 주파수 오차에 따른 위상 오차를 보상하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<22> 이때, 상기 a)단계 및 b)단계는, 파일럿(PILOT) 신호가 위치한 각 부채널의 이득값을 고려하여 위상 오차를 추적하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<23> 또한, 본 발명의 다른 특징에 따른 직교 주파수 분할 다중화 무선 통신 시스템에서의 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차 추적 장치는, 서로 직교성을 가지는 부반송파들을 동시에 전송하는 송신부와 이를 수신하는 수신부를 포함하는 직교 주파수 분할 다중화 무선 통신 시스템의 반송파 주파수 오차 및 샘플링 주파수 오차 추적 장치에 있어서, 수신부로부터 수신되는 신호를 디지털 신호로 변환하는 아날로그/디지털 변환부; 상기 변환된 디지털 신호에서 보호 구간을 삭제하는 보호구간 삭제부; 상기 보호 구간이 삭제된 신호를 주파수 영역의 신호로 변환하는 고속 푸리에 변환부; 상기 변환된 주파수 영역의 신호에서 통신 채널에 의해 왜곡된 신호를 복원하는 주파수 영역 등화부; 및 상기 주파수 영역 등화부로부터 수신된 신호를 이용하여 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차에 의한 위상 오차를 추적하여 보상하는 오차 추적/보상부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<24> 또한, 본 발명의 다른 특징에 따른, 서로 직교성을 가지는 부반송파들을 동시에 전송하는 송신부와 이를 수신하는 수신부간의 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차를 추적하는 방법을 포함하는 기록매체에 있어서, a)제1 신호를 이용하여 송신부로부터 수신된 데이터를 검출한 후, 상기 검출된 수신 데이터를 이용하여 반송파 주파수 오차에 의한 위상 오차를 추적하는 기능; b)상기 제1 신호를 이용하여 상기 송신부로부터 수신된 데이터를 검출한 후, 상기 검출된 수신 데이터를 이용하여 샘플링 주파수 오차에 의한 위상 오차를 추적하는 기능; c)상기 a)단계에서 추적된 위상 오차에 따라 상기 송신부와 수신부간의 반송파 주파수 오차에 따른 위상 오차를 보상하는 기능; 및 d)상기 b)단계에서 추적된 위상 오차에 따라 상기 송신부와 수신부간의 샘플링 주파수 오차에 따

른 위상 오차를 보상하는 기능을 포함하는 프로그램이 저장된 기록매체를 특징으로 한다

.

<25> 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 용이하게 실시할 수 있는 바람직한 실시예를 상세히 설명하면 다음과 같다.

<26> 또한, 이하 본 발명에서는 설명의 편의를 위하여 직교 주파수 분할 다중화 무선 통신 시스템에서의 반송파 주파수 차이로 인한 위상 오차 추적 단계와, 샘플링 주파수의 차이로 인한 위상 오차 추적 단계를 분류하여 설명하기로 한다.

<27> 먼저, 본 발명의 실시예에 따른 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차로 인한 위상 오차를 추적하여 보상하는 직교 주파수 분할 다중화 시스템의 세부적인 구조에 대해 잠시 언급하면 다음과 같다.

<28> 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 직교 주파수 분할 다중화 무선 통신 시스템의 대략적인 구성을 도시한 도면이다.

<29> 도시되어 있듯이, 본 발명의 실시예에 따른 직교 주파수 분할 다중화 무선 통신 시스템(100)은 송신부(110)와 수신부(120)로 이루어져 있다.

<30> 송신부(110)는 매핑부(111), 고속 역푸리에 변환부(IFFT, 112), 보호구간 추가부(113) 및 병렬/직렬 변환부(114)를 포함하고 있으며, 수신부(120)는 아날로그/디지털 변환부(121), 보호구간 삭제부(122), 고속 푸리에 변환부(Fast Fourier Transform, 123), 주파수 영역 등화부(124), 디매퍼(Demapper, 125) 및 오차 추적/보상부(126)를 포함한다

.

- <31> 이때, 매핑부(111)는 직렬/병렬 변환부와 함께 구성되어 있으며, 병렬/직렬 변환부(114)는 디지털/아날로그 변환부와, 아날로그/디지털 변환부(121)는 직렬/병렬 변환부와, 보호구간 삭제부(122)는 FFT 시작점 제어부, 디매퍼(125)는 병렬/직렬 변환부와 함께 구성되어 있는 구조를 이룬다.
- <32> 이러한 구조를 이루는 직교 주파수 분할 다중화 무선 통신 시스템(100)의 내부 기능 및 동작 과정에 대해 간략히 설명하면 다음과 같다.
- <33> 먼저, 송신부(110)의 기능과 그에 대한 동작 과정에 대해 알아보면 다음과 같다.
- <34> 송신하고자 하는 이진수 형태의 디지털 입력 데이터가 매핑부(111)에 먼저 입력되면, 매핑부(111)는 입력된 데이터를 직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 방식의 부채널에서 사용되는 변조 방식을 이용하여 주파수 영역에서의 심볼(복소수 형태)로 변환하며, 변환된 심볼을 정해진 부채널에 할당한다.
- <35> 이때, 매핑부(111)는 파일럿 신호 역시 반송파 주파수 오차나 샘플링 주파수 오차를 추적하여 보상하기 위한 목적 또는 채널 품질 추정 등을 위해 정해진 부채널에 삽입한다. 이처럼, 부채널에 쓰이는 변조 방식에 따라 정해진 양의 데이터가 심볼로 변환되며, 변환된 데이터와 파일럿 신호는 직렬/병렬 변환부를 거쳐 고속 역푸리에 변환부(IFFT, 112)로 전송된다.
- <36> 고속 역푸리에 변환부(IFFT, 112)는 직렬/병렬 변환부로부터 수신된 데이터와 파일럿 신호를 시간 영역의 신호로 변환하며, 변환된 신호는 보호구간 추가부(113)로 전송된다. 이후, 보호구간 추가부(113)는 수신된 신호에 보호 구간(guard interval)을 추가함으로써, 무선 채널 환경에서의 성능 저하 요인으로 작용하는 지연 확산에 대비한다.

- <37> 이후, 병렬/직렬 변환부(114)는 보호구간 추가부(113)로부터 수신되는 신호를 시간 축에서 연속적인 직렬 신호로 변환하며, 디지털/아날로그 변환부(114)는 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환한 후, 안테나 등을 통해 송신하고자 하는 아날로그 신호를 준비한다.
- <38> 이후, 안테나 등을 통해 전송한 신호는 다중 경로 페이딩 채널의 성질을 가진 무선 통신 채널을 통과하게 된다.
- <39> 다음으로, 수신부(120)의 각 기능과 이에 대한 동작 과정에 대해 알아보면 다음과 같다.
- <40> 먼저, 안테나 등을 통해 송신부(110)로부터 아날로그 신호가 수신되면, 아날로그/디지털 변환부(121)는 수신된 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환한다. 변환된 디지털 신호는 직렬/병렬 변환부(121)를 거친다.
- <41> 이후, 보호구간 삭제부(122)는 변환된 디지털 신호에서 보호구간을 삭제하며, 고속 푸리에 변환부(123)는 보호구간 삭제부(122)로부터 수신된 시간 영역의 신호를 주파수 영역의 신호로 변환한다.
- <42> 이후, 주파수 영역 등화부(124)는 통신 채널에 의해 왜곡된 신호를 복원하며, 디모퍼(125)는 복원된 신호를 복소수 형태의 심볼에서 이진수 형태의 데이터로 변환한다. 이후, 병렬/직렬 변환부는 변환된 이진수 형태의 데이터를 복원된 입력 데이터로 변환한다.
- <43> 여기서, 주파수 영역 등화부(124)의 출력 신호는 본 발명의 실시예에 따른 오차 추적/보상부(126)로 입력되는데, 오차 추적/보상부(126)는 입력된 신호를 이용하여 반송파

주파수 오차와 샘플링 주파수 오차로 인한 위상 오차를 추적한다. 오차 추적/보상부(126)에서 처리된 출력 값 중 FFT 시작점을 결정하는 값은 FFT 시작점 제어부(122)로 입력된다.

<44> 추적시, 파일럿 신호 뿐만 아니라, 복조된 신호, 부채널의 채널 이득값 등을 고려하여 추적한 후, 이에 기초하여 보상 작업을 수행함으로써, 시스템 성능 향상 및 그로 인한 신뢰도 향상을 이룰 수 있도록 한다.

<45> 이러한 특징의 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차에 의한 위상 오차 추적 및 보상 과정에 대해 첨부된 도 2를 참조하여 자세히 알아보면 다음과 같다.

<46> 먼저, 반송파 주파수 차이에 의한 위상 오차 추적 단계(S201)에 대해 자세히 설명하면 다음과 같다. 이때, 이러한 위상 오차 추적은 수신부(120)의 오차 추적/보상부(126)에서 이루어진다.

<47> 하나의 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing : 직교 주파수 분할 다중화, 이하 OFDM이라 함) 심벌 내에서는 반송파 주파수 오차(Carrier Frequency Offset)에 의한 위상 오차의 변화가 작으면, 주파수 영역의 각 부채널에서의 위상 오차는 같다고 볼 수 있다.

<48> 따라서, 본 발명의 실시예에서는 그 오차들의 평균을 주파수 오차에 의한 위상 오차라고 정의하며, 이러한 위상 오차에 대한 검출기는 각 부채널에 위치하고 있는 수신 신호의 위상 오차를 추적한 후, 추적된 위상 오차들의 평균을 계산한다.

<49> 이때, 파일럿 신호만을 사용할 경우, 위상 추정 오차는 아래의 [수학식 1] 과 같이 구할 수 있다.

<50> [수학식 1]

$$\hat{\theta}_i = \frac{1}{N_p} \sum_{j \in \{pilot_index\}} \phi_{i,j}$$

<52> 여기서 N_p 는 하나의 OFDM 심볼에서 파일럿이 위치하는 부채널의 개수이며, $\phi_{i,j}$ 는 수신신호 $y_{i,j}$ 에 포함되어 있는 위상 오차의 파일럿 신호를 이용한 추정값을 나타내며, 이는 아래의 [수학식 2]와 같이 정의할 수 있다.

<53> [수학식 2]

$$\phi_{i,j} = \arg\{y_{i,j} a_{i,j}^*\}$$

<55> 여기서 $y_{i,j}$ 는 i^{th} OFDM 심벌의 j^{th} 부채널에 해당하는 수신 신호이며, 이때, $y_{i,j}$ 는 주파수 영역 등화부(Frequency Domain Equalizer, FEQ, 124)를 통과한 신호로 가정한다. 또한, $a_{i,j}^*$ 는 해당 심벌의 부채널에 위치한 파일럿 신호의 공액 복소수 값을 나타내며, 이는 수신부(120)에서 이미 알고 있는 값이다.

<56> 한편, 본 발명의 실시예에 따라, 파일럿 신호 이외의 신호를 위상 오차 추적에 이용하는 경우는 파일럿 신호의 경우와는 달리 수신된 신호를 이용하여 송신된 데이터를 검출한 후, 검출된 송신 데이터를 사용해야만 한다. 이러한 경우의 위상 추적은 아래의 [수학식 3]과 같다.

<57> [수학식 3]

$$\hat{\theta}_i = \frac{1}{N_d} \sum_{j \in \{data_index\}} \phi'_{i,j}$$

<59> 여기서 N_d 는 하나의 OFDM 심볼에서 데이터가 위치하는 부채널의 개수이며, $\Phi_{i,j}$ 는 수신 신호 $y_{i,j}$ 에 포함되어 있는 위상 오차의 데이터 신호를 이용한 추적값을 나타내는데, 이는 아래의 [수학식 4]와 같이 정의할 수 있다.

<60> [수학식 4]

$$\phi'_{i,j} = \arg\{y_{i,j}\hat{x}_{i,j}^*\}$$

<62> 여기서, $\hat{x}_{i,j}^*$ 는 주파수 영역 등화부(124)를 통과한 수신신호 $y_{i,j}$ 를 바탕으로 검출된 송신 데이터 추적값의 공액 복소수 값이다.

<63> 본 발명의 실시예에서는 이러한 송신 데이터 검출 방법으로서, 수신된 신호와 이론적인 값과의 유클리드 거리(Euclidean distance)를 비교하여 가장 가까운 거리에 해당하는 이론값을 추정치, $\hat{x}_{i,j}$ 로 정하는 방법을 이용한다. 이를 수학식으로 표현하면 아래와 같다.

<64> [수학식 5]

$$\hat{x}_{i,j} = \arg \min_{x_{i,j}} |y_{i,j} - x_{i,j}|^2$$

<66> 이후, 파일럿 신호와 페이로드 데이터 값을 모두 이용한 위상 추정값은 아래의 [수학식 6]과 같다.

<67> [수학식 6]

$$\hat{\theta} = \frac{\sum_{j \in \{pilot_index\}} \phi_{i,j} + \sum_{j \in \{data_index\}} \phi'_{i,j}}{N_p + N_d}$$

<69> 이처럼, 채널 정보를 위상 오차 추정에 이용하는 경우는, 각 부채널에서 추정된 값에 채널 이득의 크기를 곱하여 가중치를 둔다. 이를 수학식으로 표현하면 아래의 [수학식 7]과 같다.

<70> [수학식 7]

$$\hat{\theta}_i = \frac{\sum_{j \in \{pilot_index\}} |\hat{H}_j| \phi_{i,j} + \sum_{j \in \{data_index\}} |\hat{H}_j| \phi'_{i,j}}{N_p \sum_{j \in \{pilot_index\}} |\hat{H}_j| + N_d \sum_{j \in \{data_index\}} |\hat{H}_j|}$$

<72> 여기서, \hat{H}_j 는 부채널에서의 추정된 채널 이득값이며, 이러한 부채널의 이득값은 아래의 [수학식 8]과 같은 식을 통해 계산할 수도 있다. 이러한 계산 방법은 구현의 복잡도를 줄일 수 있다. 즉, 새로운 가중치를 사용하여 구한 추정치는 아래의 [수학식 8]과 같다.

<73> [수학식 8]

$$\hat{\theta}_i = \frac{\sum_{j \in \{pilot_index\}} w_j \phi_{i,j} + \sum_{j \in \{data_index\}} w_j \phi'_{i,j}}{N_p \sum_{j \in \{pilot_index\}} w_j + N_d \sum_{j \in \{data_index\}} w_j}$$

<75> 여기서 가중치 w_j 는 아래의 [수학식 9]와 같다.

<76> [수학식 9]

$$w_j = \max\{\text{Re}(\hat{H}_j), \text{Im}(\hat{H}_j)\} + \frac{1}{2} \min\{\text{Re}(\hat{H}_j), \text{Im}(\hat{H}_j)\}$$

- <78> 다음으로, 샘플링 주파수 차이에 의한 위상 오차 추적 단계(S202)에 대해 설명하면 다음과 같다.
- <79> 자세히 설명하면, 먼저 시간 축 상에서 샘플링 위상 오차가 있는 경우, 그 위상 오차의 영향은 주파수 영역에서 주파수가 증가함에 따라 선형적으로 증가하거나 또는 감소하는 특성을 나타낸다. 여기서 직선의 기울기는 시간 축 상에서의 샘플링 위상 오차에 해당한다.
- <80> 이처럼 샘플링 주파수 오차로 인한 위상 오차의 양이 시간에 따라 증가하거나 또는 감소하는 경우, 샘플링 주파수 오차에 대한 추적 역시 반드시 필요하다.
- <81> 이때, 샘플링 주파수 오차에 의한 위상 오차는 주파수 영역에서 부채널 인덱스(index)에 선형적으로 비례하여 나타나며 그 직선의 기울기 α 를 추정함으로써 보상할 수 있다. 즉, 파일럿 신호를 이용한 기울기 검출은 파일럿 신호가 위치한 부채널에서의 주파수 인덱스와, 주파수 인덱스에서의 위상 오차를 가지고 최적의 직선 기울기를 추정하여 구할 수 있다.
- <82> 이때, 최적의 직선 기울기를 추정할 때 선형 회귀(Linear regression) 방법을 쓰는 경우, 기울기 값은 아래의 [수학식 10]과 같이 구할 수 있다.

<83> [수학식 10]

$$\hat{\alpha}_i = \frac{\sum_{j \in \{pilot_index\}} j \cdot \phi_{i,j}}{\sum_{j \in \{pilot_index\}} j^2}$$

<85> 여기서 i 와 j 는 각각 OFDM 심볼 인덱스와 부채널의 인덱스를 나타내며, $\Phi_{i,j}$ 는 i th OFDM 심벌의 j th 부채널에 해당하는 수신 신호 $y_{i,j}$ 에 포함되어 있는 위상 오차의 추정 값으로서, 아래의 [수학식 11]과 같이 정의(S204)할 수 있다.

<86> [수학식 11]

$$\phi_{i,j} = \arg\{y_{i,j}a_{i,j}^*\}$$

<88> 여기서 $y_{i,j}$ 는 위에서 언급되었듯이, 주파수 영역 등화부(124)를 통과한 신호이며, $a_{i,j}$ 는 i th OFDM 심벌의 j th 부채널에 해당하는 파일럿 신호값이다.

<89> 이때, 페이로드 데이터를 이용한 위상 오차 검출을 위해서는 파일럿 신호값 대신, 수신 신호 $y_{i,j}$ 를 바탕으로 검출된 송신 데이터의 추정값, $\hat{x}_{i,j}$ 을 아래의 [수학식 12]와 같이 사용(S204)한다.

<90> [수학식 12]

$$\phi'_{i,j} = \arg\{y_{i,j}\hat{x}_{i,j}^*\}$$

<92> 여기서 $\hat{x}_{i,j}$ 는 주파수 영역에서의 등화가 이루어진 수신 신호 $y_{i,j}$ 를 바탕으로 검출된 송신 데이터 추정치의 공액 복소수 값이며, 여기서는 수신된 신호와 이론적인 신호와의 유클리드 거리를 비교하여 가장 가까운 거리에 해당하는 이론값을 추정치, $\hat{x}_{i,j}$ 로 정한다(S203). 이를 표현하면 아래의 [수학식 13]과 같다.

<93> [수학식 13]

$$\hat{x}_{i,j} = \arg \min_{x_{i,j}} |y_{i,j} - x_{i,j}|^2$$

<95> 이때, 파일럿 신호와 페이로드 데이터 값을 모두 이용한 기울기 α 의 추정 값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

<96> [수학식 14]

$$\hat{\alpha}_i = \frac{\sum_{j \in \{pilot_index\}} j \cdot \phi_{i,j} + \sum_{j \in \{data_index\}} j \cdot \phi'_{i,j}}{\sum_{j \in \{pilot_index\}} j^2 + \sum_{j \in \{data_index\}} j^2}$$

<98> 이와 같이, 채널 정보를 기울기 추정에 이용하는 경우는 각 부채널에서 추정한 값에 채널 이득의 크기를 반영한 후, 가중치를 두어 계산한다.

<99> 이하 본 발명의 실시예에서는 선형 회귀 방법을 사용하면서 기울기 추정에 이용되는 샘플 값들의 인덱스 분포가 서로 대칭으로 존재한다고 가정한다. 즉, 인덱스 i 에 해당하는 샘플이 사용되면, 반드시 $-i$ 에 해당하는 샘플을 사용하는 것이다. 이러한 가정을 감안하여 가중치를 적용하면 기울기의 추정치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

<100> [수학식 15]

$$\hat{\alpha}_i = \frac{\sum_{j \in \{pilot_index\}} (|\hat{H}_j| + |\hat{H}_{-j}|) \cdot j \cdot \phi_{i,j} + \sum_{j \in \{data_index\}} (|\hat{H}_j| + |\hat{H}_{-j}|) \cdot j \cdot \phi'_{i,j}}{\sum_{j \in \{pilot_index\}} (|\hat{H}_j| + |\hat{H}_{-j}|) \cdot j^2 + \sum_{j \in \{data_index\}} (|\hat{H}_j| + |\hat{H}_{-j}|) \cdot j^2}$$

<102> 여기서, \hat{H}_j 는 부채널에서의 추정된 채널 이득값이며, 이러한 부채널의 채널 이득 값은 아래의 [수학식 16]과 같은 계산식으로 계산될 수도 있으며, 이를 통해 구현의 복잡도를 줄일 수도 있다.

<103> [수학식 16]

$$\hat{\alpha}_i = \frac{\sum_{j \in \{pilot_index\}} (w_j + w_{-j}) \cdot j \cdot \phi_{i,j} + \sum_{j \in \{data_index\}} (w_j + w_{-j}) \cdot j \cdot \phi'_{i,j}}{\sum_{j \in \{pilot_index\}} (w_j + w_{-j}) \cdot j^2 + \sum_{j \in \{data_index\}} (w_j + w_{-j}) \cdot j^2}$$

<105> 여기서 가중치 w_j 는 아래의 [수학식 17]과 같이 구할 수 있다.

<106> [수학식 17]

$$w_j = \max\{\text{Re}(\hat{H}_j), \text{Im}(\hat{H}_j)\} + \frac{1}{2} \min\{\text{Re}(\hat{H}_j), \text{Im}(\hat{H}_j)\}$$

<108> 다음으로, 반송파 주파수 오차에 따른 위상 오차 추정값을 이용하여 오차를 보상하는 방법에 대해 자세히 설명하기로 한다.

<109> 먼저, 검출된 위상 오차를 다음 번 OFDM 샘플에서 보상시켜 주기 위해서는 먼저 추정된 잔여 위상 오차를 루프 필터(loop filter)를 통과시켜 불필요한 주파수 대역의 잡음을 제거한다.

<110> 이후, 잡음이 제거된 신호를 디지털 전압 제어 발진기(Digital VCO, DCO)를 통과시킨 후, 다음 심볼 간격에 수신되는 신호의 위상 오차 보상에 사용한다(S209, S211).

<111> 여기서, 2차 루프 필터를 사용한 경우의 잔여 위상오차 e_i 와 다음 번 심볼을 위한 위상 보정을 위해 사용되는 추정치, $\hat{\theta}_{i+1}$ 사이의 관계식은 다음과 같다.

<112> [수학식 18]

$$\hat{\theta}_{i+1} = 2\hat{\theta}_i - \hat{\theta}_{i-1} + (\mu_p + \mu_l)e_i - \mu_p e_{i-1}$$

<114> 여기서 잔여 위상오차 e_i 는 오차 보정을 하고 남은값을 의미(S205)하는데. 이는 실제 위상 오차 θ_i 와 추정값 $\hat{\theta}_i$ 의 차를 나타낸다. 이때, 위의 [수학식 18]에 나타난 추정된 위상오차, $\hat{\theta}_{i+1}$ 는 수신 신호 $y_{i+1,j}$ 에 포함되어 있는 위상오차를 보정하는 데 사용한다(S207).

<115> 또한, 주파수 영역의 각 부채널에서의 보정 방법은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

<116> [수학식 19]

$$<117> \quad y'_{i,j} = y_{i,j} e^{-j\hat{\theta}_i}$$

<118> 여기서 $y_{i,j}$ 는 i^{th} OFDM 심벌의 j^{th} 부채널에 해당하는 수신 신호이며, $y'_{i,j}$ 는 추정된 위상 오차의 추정치, $\hat{\theta}_i$ 로 보정해 준 신호에 해당한다.

<119> 다음으로, 샘플링 주파수 오차에 따른 위상 오차 추정값을 이용하여 오차를 보상하는 방법에 대해 설명하면 다음과 같다.

<120> 상세히 설명하면, 샘플링 주파수 오차를 보상하기 위한 차등 방정식은 앞에서 설명한 바와 같이, 반송파 주파수 오차 보상을 위한 방정식의 구조와 비슷하나 오차의 변화 정도에 맞는 루프 필터의 대역폭을 결정하는 계수는 아래의 [수학식 20]과 같이 달라질 수도 있다.

<121> [수학식 20]

$$<122> \quad \hat{\alpha}_{i+1} = 2\hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_{i-1} + (\gamma_p + \gamma_l)e'_i - \gamma_p e'_{i-1}$$

<123> 여기서 잔여 위상 오차로 인한 잔여 기울기 e'_i 는 위상 오차의 기울기 α_i 와 추정값, $\hat{\alpha}_i$ 의 차를 나타낸다(S206).

<124> 또한, [수학식 20]에 나타난 추정된 기울기, $\hat{\alpha}_{i+1}$ 는 수신 신호 $y_{i+1,j}$ 에 포함되어 있는 샘플링 주파수 오차로 인하여 발생하는 위상 오차를 보정하는데 사용한다(S208). 이러한 주파수 영역의 각 부채널에서의 보정 방법은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

<125> [수학식 21]

$$<126> \quad y'_{i,j} = y_{i,j} e^{-\sqrt{-1}(\hat{\alpha}_i \cdot j)}$$

<127> 여기서 $y_{i,j}$ 는 i^{th} OFDM 심벌의 j^{th} 부채널에 해당하는 수신 신호이며, $y'_{i,j}$ 는 추정된 위상오차, $\hat{\alpha}_i \cdot j$ 를 보정해 준 신호이다.

<128> 만약, 한 OFDM 심볼안에서 보정해 주어야 할 최대 위상과 최소 위상의 차이가 시간 축 상에서 한 심볼 간격 이상에 해당하는 경우는 다음과 같이 보정할 수 있다.

<129> 자세히 설명하면, 최대값과 최소값의 차를 2π 의 정수배에 해당하는 값 n_k 와 그 나머지 값으로 나눈 후, 정수배에 해당하는 값은 FFT 시작점 제어부(122)에서 고속 푸리에 변환 창(FFT window)을 움직여 오차를 보정하는 데 쓰며, 나머지 값은 위에서 설명한 부채널당 오차를 보정하는데 사용한다.

<130> 아래의 [수학식 22]는 고속 푸리에 변환 창(FFT window)을 조정하는 파라미터 n_i 를 구하는 식과 그 나머지의 오차값 m_i 를 구하는 방법에 대한 표시예이다. 이러한 방법은 위상 오차의 기울기, $\hat{\alpha}_i$ 를 나타내기 위하여 n_i 값과 m_i 값을 구하는 방법과 동일하다.

<131> [수학식 22]

$$<132> \quad \hat{\alpha}_i = n_i \left(\frac{2\pi}{N_{FFT}} \right) + m_i$$

<133> 여기서 N_{FFT} 는 고속 푸리에 변환(FFT)의 블록 크기이며, n_i 와 m_i 는 아래의 [수학식 23] 및 [수학식 24]와 같이 표현할 수 있다(S210).

<134> [수학식 23]

$$<135> \quad n_i = (\text{int}) \left(\frac{\hat{\alpha}_i \cdot N_{FFT}}{2\pi} \right)$$

<136> [수학식 24]

$$<137> \quad m_i = \hat{\alpha}_i - n_i \left(\frac{2\pi}{N_{FFT}} \right)$$

<138> 이때, [수학식 23]에서의 (int)연산은 뒤에 따라오는 수의 정수값만 취하는 연산을 의미하며, 여기서 구한 n_i 값과 m_i 을 바탕으로 고속 푸리에 변환 창 의 시작점과 부채널별 오차를 계산하여 보상할 수 있다. 이는 아래의 [수학식 25] 및 [수학식 26]과 같다.

<139> [수학식 25]

$$<140> \quad s_{i+1} = s_i + n_i$$

<141> [수학식 26]

$$<142> \quad \hat{\alpha}_i \leftarrow m_i = \hat{\alpha}_i - n_i \left(\frac{2\pi}{64} \right)$$

<143> 여기서 s_{i+1} 는 새로 갱신된 FFT 창 의 시작점을 나타내며, 이러한 시작점 보상을 제외한 위상 오차는 m_i 값에 의해 새롭게 갱신된 위상 오차의 기울기, $\hat{\alpha}_i$ 에 의해 보상할 수 있다.

<144> 만약, $n_i = 0$ 인 경우라면, 위상오차(offset)의 기울기 추정에 의해 구해진 값, $\hat{\alpha}_i$ 가 그대로 사용되게 되며 FFT 창 의 시작점 s_{i+1} 는 그 전 샘플링 간격의 값 s_i 을 유지한다.

<145> 도면과 발명의 상세한 설명은 단지 본 발명의 예시적인 것으로서, 이는 단지 본 발명을 설명하기 위한 목적에서 사용된 것이지 의미한정이나 특허청구범위에 기재된 본 발명의 범위를 제한하기 위하여 사용된 것은 아니다. 그러므로 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

【발명의 효과】

<146> 본 발명에 따른 직교 주파수 분할 다중화 무선 통신 시스템에서의 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차 추적 방법 및 그 장치는, 반송파 주파수 및 샘플링 주파수 오차로 인한 위상 오차 추적시, 파일럿 신호 뿐만 아니라 검출된 데이터 신호 및 각 부채널에서의 이득을 가중치로 적용하여 추적함으로써, 시스템 성능 향상 뿐만 아니라, 추정치의 신뢰성 향상을 이룰 수 있는 효과가 있다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

서로 직교성을 가지는 부반송파들을 동시에 전송하는 송신부와 이를 수신하는 수신부간의 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차를 추적하는 방법에 있어서,

a) 제1 신호를 이용하여 송신부로부터 수신된 데이터를 검출한 후, 상기 검출된 수신 데이터를 이용하여 반송파 주파수 오차에 의한 위상 오차를 추적하는 단계;

b)상기 제1 신호를 이용하여 상기 송신부로부터 수신된 데이터를 검출한 후, 상기 검출된 수신 데이터를 이용하여 샘플링 주파수 오차에 의한 위상 오차를 추적하는 단계;

c) 상기 a)단계에서 추적된 위상 오차에 따라 상기 송신부와 수신부간의 반송파 주파수 오차에 따른 위상 오차를 보상하는 단계; 및

d)상기 b)단계에서 추적된 위상 오차에 따라 상기 송신부와 수신부간의 샘플링 주파수 오차에 따른 위상 오차를 보상하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 반송파 주파수 오차 및 샘플링 주파수 오차 추적 방법.

【청구항 2】

제1 항에 있어서,

상기 a)단계 및 b)단계는,

파일럿(PILOT) 신호가 위치한 각 부채널의 이득값을 고려하여 위상 오차를 추적하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 반송파 주파수 오차 및 샘플링 주파수 오차 추적 방법.

【청구항 3】

제2 항에 있어서,

상기 a)단계 및 b)단계는,

상기 제1 신호와 이론적인 신호와의 유클리드(EUCLIDEAN) 거리를 비교하여 가장 가까운 거리에 해당하는 이론값을 이용하여 상기 수신된 데이터를 검출하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 반송파 주파수 오차 및 샘플링 주파수 오차 추적 방법.

【청구항 4】

제3 항에 있어서,

상기 b)단계는,

시간 축 상에서의 위상 오차에 해당하는 직선의 기울기 값을 선형 회귀 방법을 이용하여 계산하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 반송파 주파수 오차 및 샘플링 주파수 오차 추적 방법.

【청구항 5】

제4 항에 있어서,

상기 직선의 기울기 값에 대한 추정치는,

$$\hat{\alpha}_i = \frac{\sum_{j \in \{pilot_index\}} (w_j + w_{-j}) \cdot j \cdot \phi_{i,j} + \sum_{j \in \{data_index\}} (w_j + w_{-j}) \cdot j \cdot \phi'_{i,j}}{\sum_{j \in \{pilot_index\}} (w_j + w_{-j}) \cdot j^2 + \sum_{j \in \{data_index\}} (w_j + w_{-j}) \cdot j^2}$$

을 따르며,

여기서, i 는 직교 주파수 분할 다중화 심볼 인덱스, j 는 부채널의 인덱스, w_j 는 가중치인 것을 특징으로 하는 반송파 주파수 오차 및 샘플링 주파수 오차 추적 방법.

【청구항 6】

제1 항에 있어서,

상기 c)단계는,

상기 추적된 위상 오차를 루프 필터(LOOP FILTER)를 통과시켜 불필요한 주파수 대역의 잡음을 제거하는 단계; 및

상기 루프 필터를 통과한 신호를 디지털 전압 제어 발진기를 통과시킨 후, 다음 심볼 간격에 수신되는 신호의 위상 오차 보상에 사용하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 반송파 주파수 오차 및 샘플링 주파수 오차 추적 방법.

【청구항 7】

제1 항에 있어서,

상기 제1 신호는,

주파수 영역에서의 등화기를 통과한 신호인 것을 특징으로 하는 반송파 주파수 오차 및 샘플링 주파수 오차 추적 방법.

【청구항 8】

서로 직교성을 가지는 부반송파들을 동시에 전송하는 송신부와 이를 수신하는 수신부를 포함하는 직교 주파수 분할 다중화 무선 통신 시스템의 반송파 주파수 오차 및 샘플링 주파수 오차 추적 장치에 있어서,

수신부로부터 수신되는 신호를 디지털 신호로 변환하는 아날로그/디지털 변환부;
 상기 변환된 디지털 신호에서 보호 구간을 삭제하는 보호구간 삭제부;
 상기 보호 구간이 삭제된 신호를 주파수 영역의 신호로 변환하는 고속 푸리에 변환부;
 상기 변환된 주파수 영역의 신호에서 통신 채널에 의해 왜곡된 신호를 복원하는 주파수
 영역 등화부; 및
 상기 주파수 영역 등화부로부터 수신된 신호를 이용하여 반송파 주파수 오차 와 샘플링
 주파수 오차에 의한 위상 오차를 추적하여 보상하는 오차 추적/보상부
 를 포함하는 것을 특징으로 하는 반송파 주파수 오차 및 샘플링 주파수 오차 추적 장치.

【청구항 9】

제8 항에 있어서,

상기 오차 추적/보상부는,

상기 주파수 영역 등화부로부터 수신된 신호를 이용하여 상기 송신부로부터 수신된 데이
 터를 검출한 후, 상기 검출된 수신 데이터를 이용하여 반송파 주파수와 샘플링 주파수
 오차에 의한 위상 오차를 추적하는 것을 특징으로 하는 반송파 주파수 오차 및 샘플링
 주파수 오차 추적 장치.

【청구항 10】

제9 항에 있어서,

상기 오차 추적/보상부는,

상기 위상 오차 추적시, 파일럿(PILOT) 신호가 위치한 각 부채널의 이득값을 고려하여
 추적하는 것을 특징으로 하는 반송파 주파수 오차 및 샘플링 주파수 오차 추적 장치.

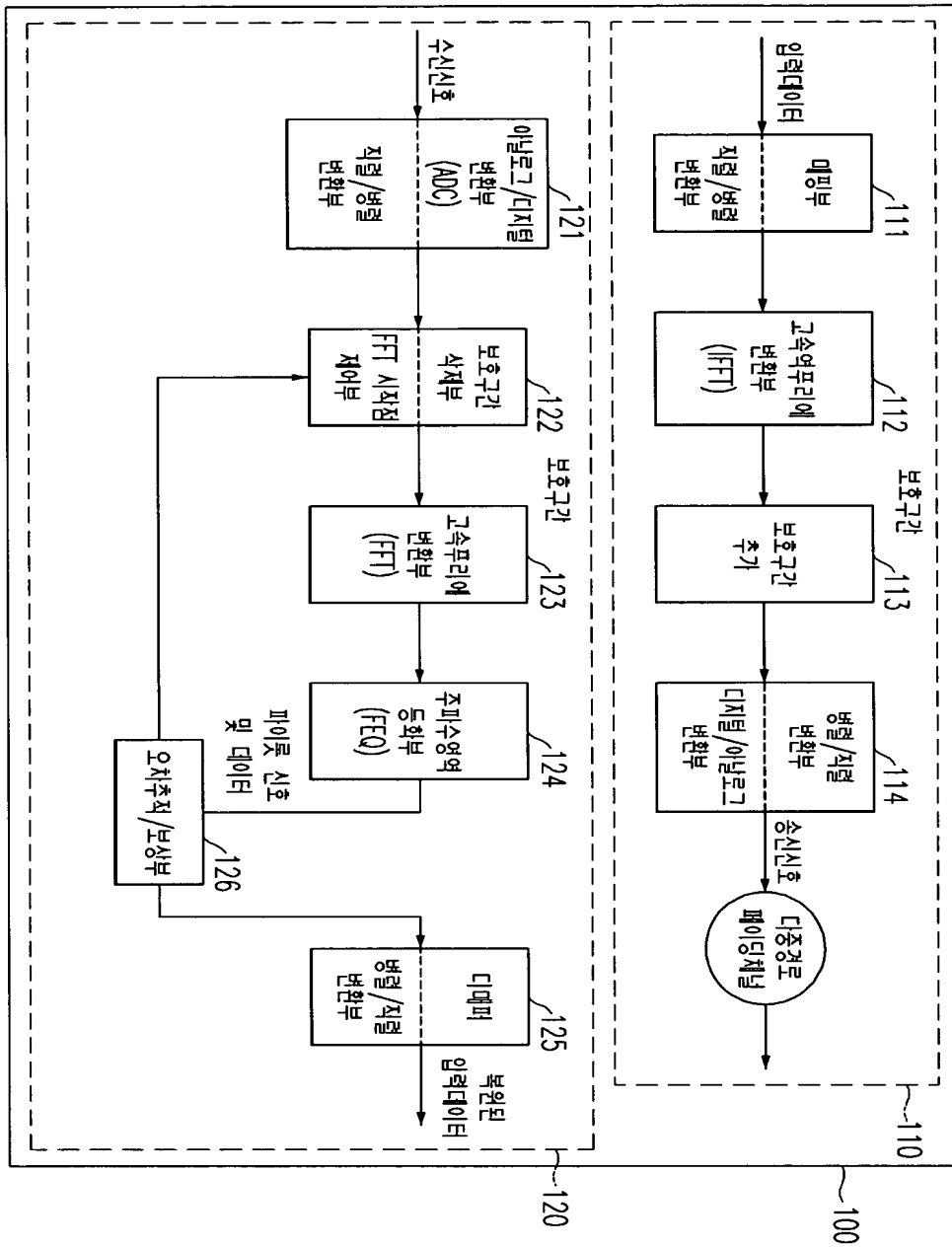
【청구항 11】

서로 직교성을 가지는 부반송파들을 동시에 전송하는 송신부와 이를 수신하는 수신부간의 반송파 주파수 오차와 샘플링 주파수 오차를 추적하는 방법을 포함하는 기록매체에 있어서,

- a) 제1 신호를 이용하여 송신부로부터 수신된 데이터를 검출한 후, 상기 검출된 수신 데이터를 이용하여 반송파 주파수 오차에 의한 위상 오차를 추적하는 기능;
- b)상기 제1 신호를 이용하여 상기 송신부로부터 수신된 데이터를 검출한 후, 상기 검출된 수신 데이터를 이용하여 샘플링 주파수 오차에 의한 위상 오차를 추적하는 기능;
- c) 상기 a)단계에서 추적된 위상 오차에 따라 상기 송신부와 수신부간의 반송파 주파수 오차에 따른 위상 오차를 보상하는 기능; 및
- d)상기 b)단계에서 추적된 위상 오차에 따라 상기 송신부와 수신부간의 샘플링 주파수 오차에 따른 위상 오차를 보상하는 기능을 포함하는 프로그램이 저장된 기록매체.

【도면】

【도 1】



【도 2】

